

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-74352

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/768

H 0 1 L 21/90

K

21/316

21/316

X

29/78

29/78

3 0 1 X

審査請求 未請求 請求項の数18 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-339303

(22) 出願日 平成9年(1997)11月25日

(31) 優先権主張番号 特願平9-178091

(32) 優先日 平9(1997)7月3日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 岡角 幸男

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(72) 発明者 朝比奈 通雄

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(72) 発明者 鈴木 英司

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井上 一 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

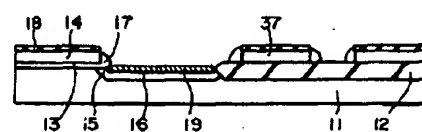
(57) 【要約】

【課題】 従来のBPSG膜を用いた層間絶縁膜に比べて低温での成膜が可能であり、平坦性に優れ、かつ信頼性の高いコンタクト構造の形成が可能な、半導体基板上の層間絶縁膜を含む半導体装置およびその製造方法を提供する。

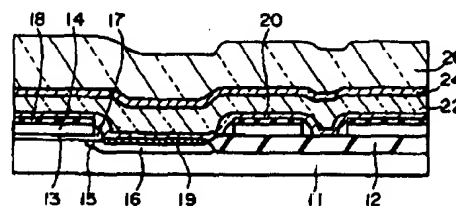
【解決手段】 層間絶縁膜11を形成する工程は、少なくとも以下の工程(a)～(c)を含む。

(a) 水素を含むシリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜22を形成する工程、(b) シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて多孔性の第2のシリコン酸化膜24を形成する工程、および(c) 600～850℃の温度でアニール処理を行い、第1および第2のシリコン酸化膜を緻密化する工程。第1のシリコン酸化膜22は、BPSG膜に比べて低い温度で成膜され、それ自体で優れた自己平坦化特性を有する。

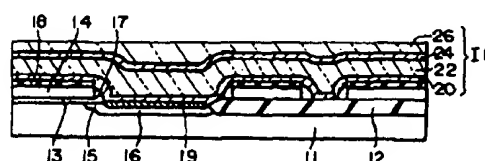
(A)



(B)



(C)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された層間絶縁膜、前記層間絶縁膜に形成されたスルーホール、前記層間絶縁膜および前記スルーホールの表面に形成されたバリア層、および前記バリア層の上に形成された導電膜を含み、

前記層間絶縁膜は、

シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第1のシリコン酸化膜、および前記第1のシリコン酸化膜の上に形成され、不純物を含有する第2のシリコン酸化膜、を含む半導体装置。

【請求項2】 請求項1において、

前記第2のシリコン酸化膜に含まれる前記不純物はリンである半導体装置。

【請求項3】 請求項1または請求項2において、

前記スルーホールは、その上端部から底部に向かって徐々に口径が小さくなるテーパ状である半導体装置。

【請求項4】 請求項1ないし請求項3のいずれかにおいて、

前記スルーホール内に形成される前記導電膜は、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる半導体装置。

【請求項5】 素子を含む半導体基板の上に層間絶縁膜を形成する工程、前記層間絶縁膜にスルーホールを形成する工程、前記層間絶縁膜および前記スルーホールの表面にバリア層を形成する工程、および前記バリア層の表面に導電膜を形成する工程を含み、前記層間絶縁膜を形成する工程は、少なくとも以下の工程(a)～(c)を含む半導体装置の製造方法。

(a) シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜を形成する工程、

(b) シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて多孔性の第2のシリコン酸化膜を形成する工程、および

(c) 600～850℃の温度でアニール処理を行う工程。

【請求項6】 請求項5において、

前記工程(a)で用いられるシリコン化合物は、モノシラン、ジシラン、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiF}_4$ などの無機シリラン化合物、および $\text{CH}_3\text{SiH}_3$ 、トリプロピルシラン、テトラエトキシシランなどの有機シリラン化合物から選択される少なくとも1種である半導体装置の製造方法。

【請求項7】 請求項5または請求項6において、

前記工程(a)は、前記シリコン化合物が無機シリラン化合物であって、0～20℃の温度条件下で減圧化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項8】 請求項5または請求項6において、

前記工程(a)は、前記シリコン化合物が有機シリラン化合物であって、100～150℃の温度条件下で減圧化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項9】 請求項5ないし請求項8のいずれかにおいて、

前記工程(b)は、300～450℃の温度条件下でプラズマ化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項10】 請求項9において、

前記工程(b)で用いられる前記酸素を含む化合物は一酸化二窒素である半導体装置の製造方法。

【請求項11】 請求項5ないし請求項8のいずれかにおいて、

前記工程(b)は、300～550℃の温度条件下で常圧化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項12】 請求項11において、

前記工程(b)で用いられる前記酸素を含む化合物はオゾンである半導体装置の製造方法。

【請求項13】 請求項5ないし請求項12において、前記工程(b)で、前記第2のシリコン酸化膜を成膜する前に、前記第1のシリコン酸化膜をオゾン雰囲気さらす半導体装置の製造方法。

【請求項14】 請求項5ないし請求項13のいずれかにおいて、

前記工程(a)の前に、シリコン化合物、および酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種を化学気相成長法によって反応させてベース層となるシリコン酸化膜を形成する半導体装置の製造方法。

【請求項15】 請求項5ないし請求項14のいずれかにおいて、

前記工程(c)におけるアニール処理は、連続的もしくは断続的に温度を上昇することによって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項16】 請求項5ないし請求項15のいずれかにおいて、

前記スルーホールは、その上端部から底部に向かって徐々に口径が小さくなるテーパ状である半導体装置の製造方法。

【請求項17】 請求項5ないし請求項16のいずれかにおいて、

前記導電膜は、200℃以下の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第1のアルミニウム膜を形成し、その後、300℃以上の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第2のアルミニウム膜を形成する半導体装置の製造方法。

【請求項18】 請求項5ないし請求項17のいずれかにおいて、

前記工程(b)において用いられる不純物は、リンである半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置およびその製造方法に関し、特にハーフミクロン以下の微細化が可能であって、層間絶縁膜を有する半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【背景技術】LSIなどの半導体装置においては、素子の微細化、高密度化および多層化に伴い、層間絶縁膜の成膜温度の低温下並びに平坦化と、金属配線の形成技術とが重要な課題となっている。

【0003】層間絶縁膜は、例えば、素子が形成された基板上に、まず低温で化学気相成長法によってシリコン酸化膜を成長させ、その後、シラン化合物、酸素あるいはオゾンと、リンあるいはホウ素などの不純物を含むガスを気相反応させてBPSG膜を数百nm～1μm程度の厚みで成膜する。その後、窒素雰囲気中で高温でアニールする、いわゆる高温フローにより、BPSG膜を流動化させてその平坦化を行う。このようにして形成された層間絶縁膜にスルーホール(コンタクトホール)を形成し、チタンやチタンナイトライドからなるバリア層を形成した後、金属配線層を形成する。

【0004】このようなBPSG膜を用いた層間絶縁膜の平坦化は、BPSG膜の高温フロー特性を利用して行われ、BPSG膜中の不純物濃度とアニール温度が高いほど、平坦化は進む。そして、BPSG膜が十分な平坦性と緻密性を得るためには、アニール温度は850℃以上であることが要求される。

【0005】しかし、微細化されたMOSTランジスタのパンチスルーの発生を防止するためには、アニールによる過剰なソース、ドレイン不純物層の広がりを抑制することが重要であり、例えばそのためには850℃以下で処理することが望まれる。また、MOSTランジスタを構成するソース、ドレイン不純物層の表面にチタンなどのシリサイド層を形成する場合には、高温アニールでは、シリサイド層の領域が必要以上に拡大し、接合特性を劣化させる要因になっている。このような理由から、層間絶縁膜を低温で形成する技術の開発が要求されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、従来のBPSG膜を用いた層間絶縁膜に比べて低温での成膜が可能であり、平坦性に優れ、かつ信頼性の高いコンタクト構造の形成が可能な、半導体基板上の層間絶縁膜を含む半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体装置の製

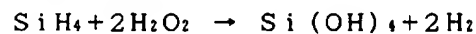
造方法は、素子を含む半導体基板の上に層間絶縁膜を形成する工程、前記層間絶縁膜にスルーホールを形成する工程、前記層間絶縁膜および前記スルーホールの表面にバリア層を形成する工程、および前記バリア層の表面に導電膜を形成する工程を含み、前記層間絶縁膜を形成する工程は、少なくとも以下の工程(a)～(c)を含むことを特徴とする。

【0008】(a)シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜を形成する工程、(b)シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて、多孔性の第2のシリコン酸化膜を形成する工程、および(c)600～850℃の温度でアニール処理を行う工程。

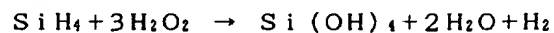
【0009】この半導体装置の製造方法によれば、工程(a)によって、シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜を形成することにより、平坦性の優れた層を形成することができる。すなわち、この工程(a)で形成される第1のシリコン酸化膜は、それ自体で高い流動性を有し、優れた自己平坦化特性を有する。そのメカニズムは、シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させると、気相中においてシラノールが形成され、このシラノールがウエハ表面に堆積することにより流動性のよい膜が形成されることによると考えられる。

【0010】例えば、シリコン化合物としてモノシランを用いた場合には、下記式(1)、(1)'などで示される反応でシラノールが形成される。

【0011】式(1)

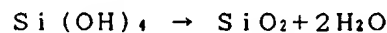


式(1)'



そして、式(1)、(1)'で形成されたシラノールは、下記式(2)で示される重縮合反応で水が脱離することにより、シリコン酸化物となる。

【0012】式(2)



前記シリコン化合物としては、例えばモノシラン、ジシラン、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiF}_4$ 、 $\text{CH}_3\text{SiH}_3$ などの無機シラン化合物、およびトリプロピルシラン、テトラエトキシシランなどの有機シラン化合物などを例示することができる。

【0013】また、前記工程(a)の成膜工程は、前記シリコン化合物が無機シリコン化合物の場合には、0～20℃の温度条件下で、前記シリコン化合物が有機シリコン化合物の場合には、100～150℃の温度条件下で、減圧化学気相成長法によって行われることが望ましい。この成膜工程で、温度が前記上限値より高いと、前記式(2)の重縮合反応が進みすぎることにより、第1のシリコン酸化膜の流動性が低くなり、良好な平坦性が

得られにくい。また、温度が前記下限値より低いと、チャンバー内での分解水分の吸着およびチャンバー外での結露が発生し、成膜装置のコントロールが困難となる不都合がある。

【0014】前記工程(a)で形成される第1のシリコン酸化膜は、シリコン基板表面の段差を十分にカバーできる程度の膜厚で形成されることが望ましい。第1のシリコン酸化膜の膜厚は、その下限値は素子を含むシリコン基板表面の凹凸の高さに依存するが、好ましくは300~1000nmである。第1のシリコン酸化膜の膜厚が前記上限値を超えると、膜自体のストレスでクラックを生ずることがある。

【0015】前記工程(b)で、シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて、前記第1のシリコン酸化膜の上に多孔性の第2のシリコン酸化膜を形成する。

【0016】この第2のシリコン酸化膜は、キャップ層として機能するだけでなく、多孔性であって、後の工程(c)のアニール処理において、第1のシリコン酸化膜から発生するガス成分を徐々に外部に放出できる。さらに、この第2のシリコン酸化膜は、多孔性であることに加え、該膜にリン、ボロンなどの不純物、好ましくはリンを添加することにより、該膜を構成するシリコン化合物のSi-O分子間結合力を弱めることで該膜の応力を緩和することができ、いわば適度に柔らかく更に割れにくい層を構成できる。また、前記第2のシリコン酸化膜の重要な役割として、該シリコン酸化膜に含まれるリンなどの不純物がアルカリイオンなどの素子の信頼特性に悪影響を及ぼす可動イオンのゲッターとしての機能がある。第2のシリコン酸化膜に含まれる不純物の濃度は、前述したゲッターリング機能や膜の応力緩和の点を考慮すると、好ましくは1~6重量%である。

【0017】また、第2のシリコン酸化膜は、100~600MPaの圧縮ストレスを有しているため、第1のシリコン酸化膜が重縮合する際に引張ストレスが増大してクラックが入るのを防止する機能がある。さらに、第2のシリコン酸化膜は、第1のシリコン酸化膜の吸湿を防止する機能も有する。

【0018】前記工程(b)は、300~450℃の温度条件下で、1MHz以下の高周波によるプラズマ化学気相成長法によって行われることが望ましい。この温度条件で成膜を行うことにより、工程(c)のアニールでガス成分がアニール初期段階で抜けやすくなり、デバイスの信頼性が向上する。

【0019】また、前記工程(b)で用いられる、酸素を含む化合物は、一酸化二窒素( $N_2O$ )であることが望ましい。反応ガスとして一酸化二窒素を用いることにより、プラズマ状態の一酸化二窒素は第1のシリコン酸化膜を構成するシリコン化合物の水素ボンド(-H)と

反応しやすいので、第2のシリコン酸化膜を成膜中にも第1のシリコン酸化膜のガス化成分(水素、水)の脱離を促進することができる。

【0020】前記工程(b)は、プラズマ化学気相成長法の代わりに、300~550℃の温度条件下で常圧化学気相成長法によって行われてもよい。この場合、前記工程(b)で用いられる前記酸素を含む化合物はオゾンであることが望ましい。

【0021】さらに、前記工程(b)で、前記第2のシリコン酸化膜を成膜する前に、前記第1のシリコン酸化膜をオゾン雰囲気中にさらすことが望ましい。この工程を経ることにより、オゾンが第1のシリコン酸化膜を構成するシリコン化合物の水素ボンド(-H)や水酸基(-OH)と反応しやすいので、第1のシリコン酸化膜中の水素や水の脱離を促進することができる。

【0022】また、第2のシリコン酸化膜の膜厚は、平坦性、クラックの防止の点を考慮すると、好ましくは100nm以上である。

【0023】前記工程(c)で、600~850℃の温度でアニール処理を行うことにより、前記工程(a)および(b)で形成された第1および第2のシリコン酸化膜は緻密化され、絶縁性ならびに耐湿性が向上する。

【0024】つまり、第1のシリコン酸化膜についてみると、このアニール処理の初期において、前述した式(2)による重縮合反応が完了し、この反応に伴って生じる水や水素は第2のシリコン酸化膜の孔を介して外部に放出され、第1のシリコン酸化膜は、十分にガス化成分が除去された状態で緻密に形成される。また、第2のシリコン酸化膜は、アニール処理によって、多孔質から緻密な膜になる。

【0025】このアニール処理において、温度を600℃以上とすることにより、第1および第2のシリコン酸化膜を十分に緻密にすることができるとともに、例えばMOS素子を構成するソース、ドレイン拡散層の不純物の活性化を十分に行うことができる。また、アニール温度を850℃以下とすることにより、従来のBPSG膜で必要とされている温度よりも低い温度で層間絶縁膜の平坦化が可能であるとともに、第1および第2のシリコン酸化膜を十分に緻密化できる。また、アニール温度を850℃を越える温度で行うと、ソース、ドレイン拡散層が必要以上に拡大してパンチスルー等の問題を起こし、素子の微細化が困難となる。

【0026】第1のシリコン酸化膜上に多孔性の第2のシリコン酸化膜を形成しておくことにより、工程(c)でのアニール処理において、ウエハを600~850℃の温度下に直接置いた場合のように急激な温度変化があっても、前記第2のシリコン酸化膜が適度な柔らかさを有し、第1のシリコン酸化膜の応力を吸収できるので、該第1のシリコン酸化膜にクラックを生じることなく、アニール処理を行うことができる。

【0027】前記工程(c)におけるアニール処理は、第1のシリコン酸化膜にクラックが生ずることをより確実に防止するために、連続的もしくは断続的に温度を上昇させるランピングアニールによって行われることが望ましい。

【0028】本発明においては、前記工程(a)の前に、シリコン化合物、および酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種を化学気相成長法によって反応させて、ベース層となるシリコン酸化膜を形成することが望ましい。このベース層は、その下層であるシリコン基板に第1のシリコン酸化膜から水分や余分な不純物が移動しないバッシベーション機能、およびシリコン基板と第1のシリコン酸化膜との密着性を高める機能を有する。

【0029】また、本発明に係る製造方法においては、上述した製造方法で得られた層間絶縁膜において、上端部から底部に向かって徐々に口径が小さくなるテーパー状のスルーホールが得られる。つまり、前記第1のシリコン酸化膜は第2のシリコン酸化膜に比べてエッチング速度がわずかに小さく、また、第1のシリコン酸化膜と第2のシリコン酸化膜とは両者の界面で良好に接しているため、段差がなく適度な直線状テーパーを有するスルーホールが形成される。このようなテーパー状のスルーホールでは、例えばスパッタによってアルミニウム膜あるいはアルミニウム合金膜を埋め込むことができ、導電性が優れたコンタクト構造を形成することができる。

【0030】前記スルーホールは、異方性のドライエッチングによって形成されたものの他に、等方性のウェットエッチングと異方性のドライエッチングとを組み合わせさせてスルーホールの上端部をさらに湾曲したテーパー状に形成させたものであってもよい。

【0031】また、前記スルーホール内には、まず、200℃以下の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第1のアルミニウム膜を形成し、その後、300℃以上の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第2のアルミニウム膜を形成することが望ましい。

【0032】前記アルミニウムを主成分とする合金としては、銅、シリコン、ゲルマニウム、マグネシウム、コバルト、ベリリウムなどから選択される少なくとも1種との、2元あるいは3元以上の合金を例示することができる。

【0033】以上の製造方法によって形成された半導体装置は、素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された層間絶縁膜、前記層間絶縁膜に形成されたスルーホール、前記層間絶縁膜および前記スルーホールの表面に形成されたバリア層、および前記バリア層の上に形成された導電膜を含み、前記層間絶縁膜は、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第1のシリコン酸化膜、および前記第1のシリコン酸化膜の上に形成され、不純物を含有する第2のシリコン酸

化膜、を含む。

【0034】

【発明の実施の形態】図1～図4は、本発明に係る半導体装置の製造方法および半導体装置の一実施の形態を説明するための概略断面図である。図1(A)～(C)および図2(A)、(B)は第1層の配線領域L1を、図3(A)、(B)および図4(A)、(B)は第2層の配線領域L2を製造するための工程を示す。

【0035】以下に、半導体装置の製造方法の一例を示す。

【0036】(A)図1(A)に示す工程について説明する。

【0037】(素子の形成)まず、一般的に用いられる方法によって、シリコン基板11にMOS素子が形成される。具体的には、例えば、シリコン基板11上に選択酸化によってフィールド絶縁膜12が形成され、アクティブ領域にゲート酸化膜13が形成される。チャネル注入により、しきい値電圧を調整した後、SiH<sub>4</sub>を熱分解して成長させたポリシリコン膜の上にタングステンシリサイドをスパッタし、さらにシリコン酸化膜18を積層し、さらに所定パターンにエッチングすることにより、ゲート電極14が形成される。このとき、必要に応じて、フィールド絶縁膜12上にポリシリコン膜およびタングステンシリサイド膜からなる配線層37が形成される。

【0038】次いで、リンをイオン注入することによりソース領域あるいはドレイン領域の低濃度不純物層15が形成される。次いで、ゲート電極14のサイドにシリコン酸化膜からなる側壁スペーサ17が形成された後、ヒ素をイオン注入し、ハロゲンランプを用いたアニール処理によって不純物の活性化を行うことにより、ソース領域あるいはドレイン領域の高濃度不純物層16が形成される。

【0039】次に、100nm以下の気相成長シリコン酸化膜を形成し、該膜をHFとNH<sub>4</sub>Fの混合水溶液で選択的にエッチングすることにより、所定のシリコン基板領域を露出させる。続いて、例えばチタンを30～100nm程度の膜厚でスパッタし、酸素を50ppm以下に制御した窒素雰囲気中において650～750℃の温度で数秒～60秒程度の瞬間アニールを行うことにより、開口したシリコン基板表面にチタンのモノシリサイド層が、シリコン酸化膜18上にはチタンリッチのチタンナイトライド(TiN)層が形成される。次いで、NH<sub>4</sub>OHとH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の混合水溶液中に浸漬すると、前記チタンナイトライド層はエッチング除去されてシリコン基板表面のみにチタンのモノシリサイド層が残る。さらに、750～850℃のランプアニールを行って、前記モノシリサイド層をダイシリサイド化させて、高濃度不純物層16の表面に自己整合的にチタンシリサイド層19が形成される。

【0040】なお、ゲート電極14をポリシリコンのみで形成して選択エッチングで露出させた場合には、ゲート電極とソース、ドレイン領域の両者が側壁スペースで分離されたチタンサリサイド構造になる。

【0041】なお、サリサイド構造は、チタンシリサイドの代わりに、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイドから構成されていてもよい。

【0042】(B)次に、図1(B)に示す工程について説明する。

【0043】(第1の層間絶縁膜11の形成)第1の層間絶縁膜11は、4層のシリコン酸化膜、つまり、下から順に、第4のシリコン酸化膜20、第1のシリコン酸化膜22、第2のシリコン酸化膜24および第3のシリコン酸化膜26から構成されている。

【0044】a. 第4のシリコン酸化膜20の形成  
まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とを300~500℃でプラズマ化学気相成長(CVD)法で反応させることにより、膜厚100~200nmの第4のシリコン酸化膜20が形成される。このシリコン酸化膜20は、シリサイド層19の酸化やカスピングもなく、SiH<sub>4</sub>から成長させた膜より絶縁性も高くフッ化水素の水溶液に対するエッチング速度も遅く、緻密な膜となる。

【0045】ここでは、チタンシリサイド層19上に直接シリコン酸化膜20を形成させるが、このときの成膜温度が高いと成膜初期に酸化性ガスとチタンシリサイドとが反応してクラックや剥離を生じ易いため、処理温度は好ましくは600℃以下、より好ましくは250~400℃で行うことが望ましい。そして、シリコン酸化膜がチタンシリサイド層19上に100nm程度の膜厚で前述した比較的低温で形成された後は、水蒸気以外の酸化雰囲気中にさらされるアニールや気相酸化処理であれば、温度を900℃位まで上げて問題とならない。

【0046】b. 第1のシリコン酸化膜22の形成  
次に、好ましくは $2.5 \times 10^2$  Pa以下、より好ましくは $0.3 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^2$  Paの減圧下において、窒素ガスをキャリアとして、SiH<sub>4</sub>およびH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>をCVD法により反応させることにより、第1のシリコン酸化膜22を形成する。第1のシリコン酸化膜22は、少なくとも、下層の第4のシリコン酸化膜20の段差より大きい膜厚を有し、つまり該段差を十分にカバーする膜厚で成膜される。また、第1のシリコン酸化膜22の膜厚の上限は、該膜中にクラックが生じない程度に設定される。具体的には、第1のシリコン酸化膜22の膜厚は、より良好な平坦性を得るために、下層の段差より厚いことが望ましく、好ましくは300~1000nmに設定される。

【0047】第1のシリコン酸化膜22の成膜温度は、該膜の成膜時の流動性に関与し、成膜温度が高いと膜の流動性が低下して平坦性を損なうので、成膜時の温度は

好ましくは0~20℃、より好ましくは0~10℃に設定される。

【0048】また、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の流量は特に制限されないが、例えば濃度は55~65体積%で、SiH<sub>4</sub>の2倍以上の流量であることが好ましく、膜の均一性並びにスループットの点から、例えばガス換算で100~1000SCCMの流量範囲に設定されることが望ましい。

【0049】この工程で形成される第1のシリコン酸化膜22は、シラノールポリマーの状態にあり、流動性がよく、高い自己平坦化特性を有する。また、第1のシリコン酸化膜22は、多くの水酸基(-OH)を含むために吸湿性も高い状態にある。

【0050】c. 第2のシリコン酸化膜24の形成  
次に、チャンバ内で減圧下で30~120秒間放置し、第1のシリコン酸化膜22中の水分を多少除去した後、続けて、SiH<sub>4</sub>、PH<sub>3</sub>およびN<sub>2</sub>Oの存在下において、温度300~450℃で200~600kHzの高周波数でプラズマCVD法によってガスを反応させることにより、膜厚100~600nmのPSG膜(第2のシリコン酸化膜)24が形成される。この第2のシリコン酸化膜24は、前記第1のシリコン酸化膜22の吸湿性が高いことを考慮して、前記第1のシリコン酸化膜22の形成に続いて連続的に形成されるか、あるいは第1のシリコン酸化膜22が水分を含まない雰囲気中で保存された後に形成されることが望ましい。

【0051】また、第2のシリコン酸化膜24は、後に行われるアニール処理によって前記第1のシリコン酸化膜22中に含まれる水、水素などのガス化成分の脱離が容易かつ十分に行われることを考慮して、ポーラス(多孔性)であることが必要である。そのためには、第2のシリコン酸化膜24は、例えば温度が好ましくは450℃以下、より好ましくは300~400℃、好ましくは1MHz以下、より好ましくは200~600kHzのプラズマCVD法によって成膜され、かつリンなどの不純物を含むことが望ましい。第2のシリコン酸化膜24にこのような不純物が含まれることにより、第2のシリコン酸化膜24は、よりポーラスな状態となって膜に対するストレスを緩和できるだけでなく、アルカリイオン等に対するゲッタリング効果も持ち合わせることができ、このような不純物の濃度は、ゲッタリング効果、耐ストレス性などの点を考慮して設定される。例えば、不純物がリンの場合には、2~6重量%の割合で含まれることが望ましい。

【0052】また、プラズマCVDにおいて、酸素を含む化合物としてN<sub>2</sub>Oを用いることにより、第1のシリコン酸化膜22中の水素ボンドの脱離が促進される。その結果、第1のシリコン酸化膜22に含まれる水分および水素などのガス化成分をより確実に除去することができる。

【0053】この第2のシリコン酸化膜24の膜厚は、

必要とされる層間絶縁膜の厚みを調整する役割と、 $N_2$  Oプラズマが水素ボンドを脱離する機能を考慮して、好ましくは100nm以上、より好ましくは100~600nmに設定される。

#### 【0054】d. アニール処理

次に、窒素雰囲気中で、温度600~850℃でアニール処理を行う。このアニール処理によって、前記第1のシリコン酸化膜22および第2のシリコン酸化膜24は緻密化され、良好な絶縁性並びに耐水性を有する。すなわち、アニール温度を600℃以上に設定することにより、第1のシリコン酸化膜22でのシラノールの縮重合反応がほぼ完全に行われ、該膜中に含まれる水および水素が十分に放出されて緻密な膜を形成することができる。また、アニール温度を850℃以下に設定することにより、MOSTランジスタを構成するソース領域あるいはドレイン領域の拡散層にパンチスルーや接合リークなどの悪影響を与えることがなく、素子の微細化を達成することができる。

【0055】アニール処理においては、第1のシリコン酸化膜22に対する熱ひずみの影響を小さくするために、段階的にもしくは連続的にウエハの温度を上げる、ランピングアニールを行うことが望ましい。例えば、ウエハを約400℃で保温した後、アニール温度(600~850℃)に昇温する場合、第2のシリコン酸化膜24の不純物濃度をかなり低くすることができる。例えば、不純物がリンの場合、可動性イオンのゲッターリング効果を別にして、リンの濃度が2重量%以下でも、第1のシリコン酸化膜22にクラックが生じないことを確認\*

第1のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 250nm/分  
第2のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 250nm/分  
第3のシリコン酸化膜(アニールなし) ; 250nm/分  
比較のためのBPSG膜(アニール温度900℃) ; 350nm/分

(D) 次に、図2(A)に示す工程について説明する。

【0062】(コンタクトホール形成) 次いで、 $CHF_3$ と $CF_4$ とを主ガスとした反応性イオンエッチャーで第1の層間絶縁膜11を構成するシリコン酸化膜20、22、24および26を選択的に異方性エッチングすることにより、口径が0.2~0.5μmのコンタクトホール32が形成される。

【0063】このコンタクトホール32は、上端部から底部に向かって直線的に口径が小さくなるテーパ状を成す。テーパの角度θは、エッチング条件などによって一概には規定できないが、たとえば、5~15度の傾斜を有する。このようなテーパ状のスルーホールが得られる理由としては、第1に、シリコン酸化膜20、2\*

第1のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 525nm/分  
第2のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 550nm/分  
第3のシリコン酸化膜(アニールなし) ; 565nm/分  
比較のためのBPSG膜(アニール温度900℃) ; 750nm/分

(E) 次に、図2(B)に示す工程について説明する。★50★【0066】(脱ガス処理) まず、脱ガス工程を含む熟

\*している。

【0056】e. 第3のシリコン酸化膜26の形成  
次に、TEOSと酸素とを用い、350~400℃でプラズマCVD法により膜厚1000~1500nmの第3のシリコン酸化膜26を形成する。

【0057】プラズマCVD法を用いたTEOS-酸素のシリコン酸化膜は、アニールを行わない場合でも、高温アニールした前記第1のシリコン酸化膜22および第2のシリコン酸化膜24と同程度あるいは少し速いドライエッチング速度を有している。このことは、後述するコンタクトホールの形成においてホール側面にくびれや段差を生ずることなく、良好な形状のコンタクトホールを得る要因となる。

【0058】(C) 次に、図1(C)に示す工程について説明する。

【0059】(CMPによる平滑化) 次いで、前記第3のシリコン酸化膜26、および必要に応じて前記第2のシリコン酸化膜24および第1のシリコン酸化膜22を、CMP法によって所定の膜厚を研磨し、平滑化する。そして、前記第1のシリコン酸化膜22、第2のシリコン酸化膜24および第3のシリコン酸化膜26は、研磨速度がほとんど同じことから、研磨によって第2のシリコン酸化膜24あるいは第1のシリコン酸化膜22の一部が表面に露出したとしても、平坦な表面を得ることができ、したがって研磨量の管理が容易である。

【0060】例えば、本発明者らの研究によれば、各シリコン酸化膜の研磨速度は以下の様であった。

#### 【0061】

\*2、24および26は、基本的にはほぼ同じエッチング速度を有し、さらに第1のシリコン酸化膜22は第2のシリコン酸化膜24に比べてエッチング速度がわずかに小さいこと、第2に、各シリコン酸化膜の界面が極めて良好に密着していることにある。このようなテーパ状のコンタクトホール32内では、後述するように、アルミニウム膜の良好な堆積が可能である。

【0064】以下に、本願発明者らが測定した各シリコン酸化膜のドライエッチング速度を記載する。なお、ドライエッチングは、パワー; 800W、気圧; 20Pa、エッチャントガス;  $CF_4$ :  $CHF_3$ : He = 1: 2: 9の条件で行った。

#### 【0065】

第1のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 525nm/分  
第2のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 550nm/分  
第3のシリコン酸化膜(アニールなし) ; 565nm/分  
比較のためのBPSG膜(アニール温度900℃) ; 750nm/分

処理について説明する。

【0067】ランプチャンバで、 $1.5 \times 10^{-4}$  Pa以下のベース圧力、150～350℃、好ましくは150～250℃の温度で30～60秒間のランプ加熱（熱処理A）を施す。次いで、別のチャンバで $1 \times 10^{-1}$ ～ $1.5 \times 10^{-1}$  Paの圧力でアルゴンガスを導入し、150～550℃の温度で、30～300秒間の熱処理（脱ガス工程；熱処理B）を行うことによって、脱ガス処理を行う。

【0068】この工程においては、まず、熱処理Aにおいて、主として、ウエハの裏面および側面を含むウエハ全体を加熱処理することにより、ウエハに付着している水分などを除去できる。

【0069】さらに、熱処理Bにおいて、主として、第1の層間絶縁膜I1を構成する第1のシリコン酸化膜22中のガス化成分（H、H<sub>2</sub>O）を除去することができる。その結果、次工程のバリア層およびアルミニウム膜の形成時に、第1の層間絶縁膜I1からのガス化成分の発生が防止できる。

【0070】本実施の形態においては、バリア層33は、バリア機能を有するバリア膜と、導電膜とからなる多層膜によって構成される。導電膜は、バリア膜とシリコン基板に形成された不純物拡散層、つまりソース領域あるいはドレイン領域との導電性を高めるために、バリア膜と不純物拡散層との間に形成される。バリア膜としては、一般的な物質、例えばチタンナイトライドやチタンタングステン等を好ましく用いることができる。また、導電膜としては、チタン、コバルト、タングステンなどの高融点金属を用いることができる。これらのチタン、コバルト、タングステンは基板を構成するシリコンと反応してシリサイドとなる。

【0071】バリア層、例えばTiN膜/Ti膜は数十原子%のガス化成分（O、H、H<sub>2</sub>O、N）を固溶することから、これらの膜を形成する前に、第1の層間絶縁膜I1中のガス化成分を除去することが、コンタクトホール内でのアルミニウム膜の成膜を良好に行う上で、極めて有効である。バリア層の下位の第1の層間絶縁膜I1中のガス化成分を十分に除去しておかないと、バリア層の形成時の温度（通常、300℃以上）で、第1の層間絶縁膜I1中のガス化成分が放出され、このガスがバリア層中に取り込まれる。さらに、このガスがアルミニウム膜の成膜時にバリア層から離脱してバリア層とアルミニウム膜との界面に出てくるため、アルミニウム膜の密着性や流動性に悪影響を与える。

【0072】（バリア層の成膜）スパッタ法により、バリア層33を構成する導電膜として、チタン膜を20～70 nmの膜厚で形成し、次いで、別のチャンバで、バリア膜としてTiN膜を30～150 nmの膜厚で形成する。スパッタの温度は、膜厚に応じて、200～450℃の範囲で選択される。

【0073】次に、 $0.1 \times 10^2$ ～ $1.5 \times 10^2$  Paの圧力で酸素プラズマ中に10～100秒間さらし、450～700℃の酸素または水素雰囲気中で10～60分間にわたってアニール処理することにより、バリア層中に酸化チタンを島状に形成することができる。この処理によりバリア層のバリア性を向上させることができることを確認している。

【0074】また、このアニール処理は、少なくとも数百ppm～数%の酸素を含むランプアニール炉における400～800℃の熱処理によっても行うことができ、同様にバリア層のバリア性を向上させることができる。

【0075】なお、図示はしないが、バリア層33の表面に、後述するアルミニウム膜に対する濡れ性を向上させる目的で、チタン、コバルト、シリコンなどで構成されるウェットング層を形成してもよい。このようなウェットング層を設けることにより、第1のアルミニウム膜の流動性を上げることができる。ウェットング層の膜厚は、通常数十nm以上あればよい。

【0076】（アルミニウム膜の成膜前の脱ガス処理およびウエハの冷却）まず、ウエハの冷却を行う前に、ランプチャンバ内において、 $1.5 \times 10^{-4}$  Pa以下のベース圧力、150～250℃の温度で30～60秒間の熱処理（熱処理C）を行い、基板に付着した水などの物質を除去する。その後、アルミニウム膜を成膜する前に、基板温度を100℃以下、好ましくは常温～50℃の温度に下げる。この冷却工程は、上記熱処理Cにより上昇した基板温度を下げるために重要なもので、例えば水冷機能を有するステージ上にウエハを載置して該ウエハ温度を所定温度まで下げる。

【0077】このようにウエハの冷却を行うことにより、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、第1の層間絶縁膜I1およびバリア層33、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、バリア層33と第1のアルミニウム膜34との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影響を防ぐことができる。

【0078】（アルミニウム膜の成膜）まず、200℃以下、より好ましくは30～100℃の温度で、0.2～1.0重量%の銅を含むアルミニウムを膜厚150～300 nmでスパッタによって高速度で成膜し、第1のアルミニウム膜34が形成される。続いて、同一チャンバ内で基板温度420～460℃に加熱して、同様に銅を含むアルミニウムをスパッタにより低速度で成膜し、膜厚300～600 nmの第2のアルミニウム膜35が形成される。ここで、アルミニウム膜の成膜において、「高速度」とは、成膜条件や製造されるデバイスの設計事項によって一概に規定できないが、おおよそ10 nm/秒以上のスパッタ速度を意味し、「低速度」とは、おおよそ3 nm/秒以下のスパッタ速度を意味する。

【0079】図5に、第1および第2のアルミニウム膜



34, 35を成膜するためのスパッタ装置の一例を示す。このスパッタ装置は、チャンバ50内に、電極をかねるターゲット51およびステージをかねる電極52を有し、電極52上には処理される基板(ウエハ)Wが設置されるように構成されている。チャンバ50には、第1のガス供給路53が接続され、電極52には、第2のガス供給路54が接続されている。ガス供給路53, 54からは、いずれもアルゴンガスが供給される。そして、第2のガス供給路54から供給されるガスによって、ウエハWの温度が制御される。なお、チャンバ50内のガスを排出するための手段は図示しない。

【0080】このようなスパッタ装置を用いて基板温度をコントロールした一例を図6に示す。図6において、横軸は経過時間を示し、縦軸は基板(ウエハ)温度を示す。また、図6において、符号aで示すラインはスパッタ装置のステージ52の温度を350℃に設定したときの基板温度変化を示し、符号bで示すラインは第2のガス供給路54を通して高温のアルゴンガスをチャンバ内に供給することによってステージ52の温度を高めていったときの基板温度の変化を示している。

【0081】例えば、基板の温度制御は以下のように行われる。まず、ステージ52の温度は、予め、第2のアルミニウム膜を形成するための温度(350~500℃)に設定されている。第1のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54からのガスの供給はなく、基板温度はステージ52による加熱によって、図6の符号aで示すように徐々に上昇する。第2のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54を介して加熱されたガスが供給されることによって図6の符号bで示すように、基板温度は急激に上昇し、所定の温度で一定になるように制御される。

【0082】図6に示す例では、ステージ温度が350℃に設定され、そして、基板温度が125~150℃に設定されている間に第1のアルミニウム膜34が成膜され、その後すぐに第2のアルミニウム膜35の成膜が行われる。

【0083】アルミニウム膜の成膜においては、成膜速度および基板温度制御とともに、スパッタ装置に印加されるパワーの制御も重要である。つまり、成膜速度とも関連するが、第1のアルミニウム膜34の成膜は高いパワーで行われ、第2のアルミニウム膜35は低いパワーで行われ、さらに高いパワーから低いパワーに切り換える際にパワーをゼロにしないことが重要である。パワーをゼロにすると、減圧下においても第1のアルミニウム膜の表面に酸化膜が形成され、第1のアルミニウム膜に対する第2のアルミニウム膜の濡れ性が低下し、両者の密着性が悪くなる。言い換えれば、パワーを常に印加することにより、成膜中のアルミニウム膜の表面に活性なアルミニウムを供給し続けることができ、酸化膜の形成を抑制できる。なお、パワーの大きさは、スパッタ装置

や成膜条件などに依存し一概に規定できないが、例えば図6に示す温度条件の場合、高パワーが5~10kW、低パワーが300W~1kWに設定されることが望ましい。

【0084】このように、同一チャンバ内で第1のアルミニウム膜34および第2のアルミニウム膜35を連続的に成膜することにより、温度およびパワーの制御を厳密に行うことができ、従来よりも低温でかつ安定したアルミニウム膜を効率よく形成することが可能となる。

【0085】前記第1のアルミニウム膜34の膜厚は、良好なステップカバレッジで連続層を形成することができること、並びに該アルミニウム膜34より下層のバリア層33および第1の層間絶縁膜I1からのガス化成分の放出を抑制できることなどを考慮して、適正な範囲が選択されるが、例えば200~400nmが望ましい。また、第2のアルミニウム膜35は、コンタクトホール1の大きさ並びにそのアスペクト比などによって決定されるが、例えばアスペクト比が3程度で0.5μm以下のホールを埋めるためには、300~1000nmの膜厚が必要である。

【0086】(反射防止膜の成膜)さらに、別のスパッタチャンバで、スパッタによりTiNを堆積することにより、膜厚30~80nmの反射防止膜36が形成される。その後、Cl<sub>2</sub>とBCl<sub>3</sub>のガスを主体とする異方性ドライエッチャーで前記バリア層33、第1のアルミニウム膜34、第2のアルミニウム膜35および反射防止膜36からなる堆積層を選択的にエッチングして、第1の金属配線層30のパターニングを行う。

【0087】このようにして形成された金属配線層30では、アスペクト比が0.5~3で、口径が0.2~0.8μmのコンタクトホール内において、ボイドを発生させることなく良好なステップカバレッジでアルミニウムが埋め込まれることが確認された。

【0088】(F)次に、図3(A)に示す工程について説明する。

【0089】(第2の層間絶縁膜I2の形成)第2の層間絶縁膜I2は、基本的には前記第1の層間絶縁膜I1と同様の構成を有する。すなわち、第2の層間絶縁膜I2は、4層のシリコン酸化膜、つまり、下から順に、第8のシリコン酸化膜70、第5のシリコン酸化膜72、第6のシリコン酸化膜74および第7のシリコン酸化膜76から構成されている。そして、これらのシリコン酸化膜70, 72, 74および76は、アニール処理以外は、前記シリコン酸化膜20, 22, 24および26と同様の方法で成膜される。以下に主要な部分を説明するが、共通する事項については記載を省略する。

【0090】a. 第8のシリコン酸化膜70の形成  
まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とを300~500℃でプラズマ化学気相成長(CVD)法で反応させることにより、膜厚50~200nmの第8のシ

17

リコン酸化膜70が形成される。

【0091】b. 第5のシリコン酸化膜72の形成次に、好ましくは $2.5 \times 10^2$  Pa以下、より好ましくは $0.3 \times 10^2 \sim 2 \times 10^2$  Paの減圧下において、窒素ガスをキャリアとして、 $\text{SiH}_4$ および $\text{H}_2\text{O}_2$ を $0 \sim 10^\circ\text{C}$ の温度でCVD法により反応させることにより、第5のシリコン酸化膜72を形成する。第5のシリコン酸化膜72は、前記第1のシリコン酸化膜22と同様に、少なくとも、下層の第8のシリコン酸化膜70の段差より大きい膜厚を有し、つまり該段差を十分にカバーする膜厚で成膜される。また、第5のシリコン酸化膜72の膜厚の上限は、該膜中にクラックが生じない程度に設定される。具体的には、第5のシリコン酸化膜72の膜厚は、より良好な平坦性を得るために、下層の段差より厚いことが望ましく、好ましくは $500 \sim 1000$  nmに設定される。

【0092】第5のシリコン酸化膜72の成膜温度は、好ましくは $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 、より好ましくは $0 \sim 10^\circ\text{C}$ に設定される。

【0093】この工程で形成される第5のシリコン酸化膜72は、高い流動性を有し、平坦化特性に優れる。

【0094】c. 第6のシリコン酸化膜74の形成次に、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3$ および $\text{N}_2\text{O}$ の存在下において、温度 $300 \sim 450^\circ\text{C}$ で $200 \sim 600$  kHzの高周波数でプラズマCVD法によって反応させることにより、膜厚 $100 \sim 600$  nmのPSG膜（第6のシリコン酸化膜）74が形成される。

【0095】また、第6のシリコン酸化膜74は、前記第2のシリコン酸化膜24と同様に、後に行われるアニール処理によって前記第5のシリコン酸化膜72中に含まれる水などのガス化成分の脱離が容易かつ十分に行われることを考慮して、ポーラス（多孔性）であることが必要である。そのためには、第6のシリコン酸化膜74は、例えば温度が好ましくは $450^\circ\text{C}$ 以下、より好ましくは $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 、好ましくは $1$  MHz以下、より好ましくは $200 \sim 600$  kHzの高周波プラズマCVD法によって成膜され、リンなどの不純物が含まれることが望ましい。第2のシリコン酸化膜74にこのような不純物が含まれることにより、第2のシリコン酸化膜74は、よりポーラスな状態となって膜に対するストレスを緩和できる。このような不純物の濃度は、耐ストレス性、ゲットリング効果などの点を考慮して設定される。例えば、不純物がリンの場合には、 $1 \sim 6$  重量%の割合で含まれることが望ましい。

【0096】また、プラズマCVDにおいて、酸素を含む化合物として $\text{N}_2\text{O}$ を用いることにより、第5のシリコン酸化膜72中の水素ボンドの脱離が促進される。その結果、第5のシリコン酸化膜72に含まれる水分などのガス化成分をより確実に除去することができる。

【0097】この第6のシリコン酸化膜74の膜厚は、

18

好ましくは $100$  nm以上、より好ましくは $200 \sim 600$  nmに設定される。

【0098】d. アニール処理

次に、温度 $350 \sim 450^\circ\text{C}$ でアニール処理を行う。このアニール処理によって、前記第5のシリコン酸化膜72および第6のシリコン酸化膜74は緻密化され、良好な絶縁性並びに耐水性を有する。すなわち、アニール温度を $350^\circ\text{C}$ 以上に設定することにより、第5のシリコン酸化膜72でのシラノールの縮重合反応がほぼ完全に行われ、該膜中に含まれる水分が十分に放出されて緻密な膜を形成することができる。また、アニール温度を $450^\circ\text{C}$ 以下に設定することにより、第1の配線層30を構成するアルミニウム膜に悪影響を与えない。

【0099】e. 第7のシリコン酸化膜76の形成

次に、TEOSと酸素とを用い、 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ でプラズマCVD法により膜厚 $1000 \sim 1500$  nmの第3のシリコン酸化膜76を形成する。

【0100】(G) 次に、図3(B)に示す工程について説明する。

【0101】(CMPによる平滑化) 前記第7のシリコン酸化膜76、および必要に応じて前記第6のシリコン酸化膜74および第5のシリコン酸化膜72を、CMP法によって所定の膜厚で研磨し、平滑化する。この平滑化処理により、研磨によって第7のシリコン酸化膜74あるいは第5のシリコン酸化膜72の一部が表面に露出したとしても、平坦な表面を得ることができ、したがって研磨量の管理が容易である。

【0102】(H) 次に、図4(A)に示す工程について説明する。

【0103】(ビアホール形成)  $\text{CHF}_3$ と $\text{CF}_4$ とを主ガスとした反応性イオンエッチャーで第2の層間絶縁膜12および反射防止膜36を選択的に異方性エッチングすることにより、口径が $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ のビアホール62が形成される。

【0104】このビアホール62は、前記コンタクトホール32と同様に、上端部から底部に向かって徐々に口径が小さくなるテーパ状を成す。テーパの角度 $\theta$ は、エッチング条件などによって一概には規定できないが、たとえば、 $5 \sim 15$  度の傾斜を有する。

【0105】(I) 次に、図4(B)に示す工程について説明する。

【0106】(脱ガス処理) まず、脱ガス工程を含む熱処理について説明する。

【0107】ランプチャンバで、 $1.5 \times 10^{-4}$  Pa以下のベース圧力、 $150 \sim 350^\circ\text{C}$ 、好ましくは $150 \sim 250^\circ\text{C}$ の温度で $30 \sim 60$  秒間のランプ加熱（熱処理D）を施す。次いで、別のチャンバで $1 \times 10^{-1} \sim 1.5 \times 10^{-1}$  Paの圧力でアルゴンガスを導入し、 $300 \sim 500^\circ\text{C}$ の温度で、 $30 \sim 300$  秒間の熱処理（脱ガス工程；熱処理E）を行うことによって、脱ガス処理を

行う。

【0108】この工程においては、まず、熱処理Dにおいて、主として、ウエハの裏面および側面を含むウエハ全体を加熱処理することにより、ウエハに付着している水分などを除去できる。

【0109】さらに、熱処理Eにおいて、主として、第2の層間絶縁膜12中のガス化成分(H、H<sub>2</sub>O)を除去することができる。その結果、次工程のウェットング層およびアルミニウム膜の形成時に、第2の層間絶縁膜12からのガス化成分の発生が防止できる。

【0110】本実施の形態においては、ウェットング層、例えばTi膜は数十原子%のガス化成分(O、H、H<sub>2</sub>O、N)を固溶することから、この膜を形成する前に、第2の層間絶縁膜12中のガス化成分を除去することが、ビアホール内でのアルミニウム膜の成膜を良好に行う上で、極めて有効である。ウェットング層の下位の第2の層間絶縁膜12中のガス化成分を十分に除去しておかないと、ウェットング層の形成時の温度(通常、300℃以上)で、第2の層間絶縁膜12中のガス化成分が放出され、このガスがウェットング層中に取り込まれる。さらに、このガスがアルミニウム膜の成膜時にウェットング層から離脱してウェットング層とアルミニウム膜との界面に出てくるため、アルミニウム膜の密着性や流動性に悪影響を与える。

【0111】(ウェットング層の成膜)スパッタ法により、ウェットング層63を構成する膜として、チタン膜を20~70nmの膜厚で形成する。スパッタの温度は、膜厚に応じて、200~450℃の範囲で選択される。

【0112】(アルミニウム膜の成膜前の脱ガス処理およびウエハの冷却)まず、ウエハの冷却を行う前に、ランプチャンバ内において、 $1.5 \times 10^{-4}$  Pa以下のベース圧力、150~250℃の温度で30~60秒間の熱処理(熱処理F)を行い、基板に付着した水などの物質を除去する。その後、アルミニウム膜を成膜する前に、基板温度を100℃以下、好ましくは常温~50℃の温度に下げる。この冷却工程は、上記熱処理Fにより上昇した基板温度を下げるために重要なもので、例えば水冷機能を有するステージ上にウエハを載置して該ウエハ温度を所定温度まで下げる。

【0113】このようにウエハの冷却を行うことにより、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、第2の層間絶縁膜12およびウェットング層63、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、ウェットング層63と第1のアルミニウム膜64との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影響を防ぐことができる。

【0114】(アルミニウム膜の成膜)まず、200℃以下、より好ましくは30~100℃の温度で、0.2~1.0重量%の銅を含むアルミニウムを膜厚150~

300nmでスパッタによって高速度で成膜し、第1のアルミニウム膜64が形成される。続いて、同一チャンバ内で基板温度420~460℃に加熱して、同様に銅を含むアルミニウムをスパッタにより低速度で成膜し、膜厚300~600nmの第2のアルミニウム膜65が形成される。

【0115】スパッタ装置としては、図5に示す装置と同様のものを使用することができる。前記スパッタ装置の構成、ウエハの温度制御およびスパッタ時のパワーについては、第1の金属配線層30の場合と同様なので、詳細な説明を省略する。

【0116】同一チャンバ内で第1のアルミニウム膜64および第2のアルミニウム膜65を連続的に成膜することにより、温度およびパワーの制御を厳密に行うことができ、従来よりも低温でかつ安定したアルミニウム膜を効率よく形成することが可能となる。

【0117】前記第1のアルミニウム膜64の膜厚は、良好なステップカバレッジで連続層を形成することができること、並びに該アルミニウム膜64より下層のウェットング層63および第2の層間絶縁膜12からのガス化成分の放出を抑制できることなどを考慮して、適正な範囲が選択されるが、例えば100~300nmが望ましい。また、第2のアルミニウム膜65は、ビアホール62の大きさ並びにそのアスペクト比などによって決定されるが、例えばアスペクト比が3程度で0.5μm以下のホールを埋めるためには、300~800nmの膜厚が必要である。

【0118】(反射防止膜の成膜)さらに、別のスパッタチャンバで、スパッタによりTiNを堆積することにより、膜厚30~80nmの反射防止膜66が形成される。その後、Cl<sub>2</sub>とBCl<sub>3</sub>のガスを主体とする異方性ドライエッチャーで前記ウェットング層63、第1のアルミニウム膜64、第2のアルミニウム膜65および反射防止膜66からなる堆積層を選択的にエッチングして、第2の金属配線層60のパターニングを行う。

【0119】このようにして形成された金属配線層60では、アスペクト比が0.5~3で、口径が0.2~0.8μmのビアホール内において、ボイドを発生させることなく良好なステップカバレッジでアルミニウムが埋め込まれることが確認された。

【0120】以後、必要に応じて、第2の配線領域12と同様にして第3、第4…の多層配線領域を形成することができる。

【0121】本実施の形態において、第1および第2の層間絶縁膜11、12が優れた平坦性を有する理由としては、以下のことが考えられる。

【0122】(a)図1(B)および図3(A)に示す工程で形成される第1のシリコン酸化膜22および第5のシリコン酸化膜72は、シリコン化合物と過酸化水素との反応によって形成される、シラノールを含む反応生

## 21

成物が高い流動性を有するため、ウエハ表面の凹凸がこれらの膜を形成した時点で高度に平坦化される。

【0123】(b) 第1および第2の層間絶縁膜I1、I2を構成する各シリコン酸化膜、特に第1、第2および第3のシリコン酸化膜22、24、26ならびに第5、第6および第7のシリコン酸化膜72、74、76は、CMPにおいて同程度の研磨速度を有するため、表面に異なったシリコン酸化膜が部分的に共存した場合であっても、良好な平坦性が得られる。

【0124】また、本実施の形態において、コンタクトホール32およびビアホール62に、第1および第2のアルミニウム膜34、35ならびに第1および第2のアルミニウム膜64、65がそれぞれ良好に埋め込まれた理由としては、以下のことが考えられる。

【0125】(a) 脱ガス工程を行うことにより、各層間絶縁膜I1、I2に含まれる水や窒素をガス化して十分に放出することにより、その後の第1のアルミニウム膜34、64および第2のアルミニウム膜35、65の成膜において、層間絶縁膜I1、I2やバリア層33あるいはウェット層63からのガスの発生を防止することで、バリア層33と第1のアルミニウム膜34、ならびにウェット層63と第1のアルミニウム膜64との密着性を高め、良好なステップカバレッジの成膜が可能であったこと。

【0126】(b) 第1のアルミニウム膜34、64の成膜において、基板温度を200℃以下の比較的低温に設定することにより、層間絶縁膜I1、I2およびバリア層33ならびにウェット層63に含まれる水分や窒素を放出させないようにして、前記脱ガス工程の効果に加えて第1のアルミニウム膜34、64の密着性を高めたこと。

【0127】(c) さらに、第1のアルミニウム膜34、64自体が、基板温度が上がった場合に下層からのガスの発生を抑制する役割を果たすため、次の第2のアルミニウム膜35、65の成膜を比較的高い温度で行うことができ、第2のアルミニウム膜の流動拡散を良好に行うことができること。

【0128】以上の方法によって、本発明に係る半導体装置(図4(B)参照)を形成することができる。この半導体装置は、少なくともMOS素子を含むシリコン基板11、および前記シリコン基板11の上に形成された第1の配線領域L1を有する。

【0129】前記第1の配線領域L1は、ベース層となる第4のシリコン酸化膜20、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第1のシリコン酸化膜22、前記第1のシリコン酸化膜22の上に形成され、リンなどの不純物を含有する第2のシリコン酸化膜24、および前記第2のシリコン酸化膜24の上に形成され、CMPにより平坦化された第3のシリコン酸化膜26からなる第1の層間絶縁膜I1、前記層間絶縁膜

## 22

I1に形成されたコンタクトホール32、前記層間絶縁膜I1および前記コンタクトホール32の表面に形成されたバリア層33、および前記バリア層33の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜34、35、を有する。そして、前記アルミニウム膜34は、バリア層33を介してチタンシリサイド層19に接続されている。

【0130】前記第1の配線領域L1上に形成された第2の配線領域L2は、ベース層となる第8のシリコン酸化膜70、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第5のシリコン酸化膜72、前記第5のシリコン酸化膜72の上に形成され、リンなどの不純物を含有する第6のシリコン酸化膜74、および前記第6のシリコン酸化膜74の上に形成され、CMPにより平坦化された第7のシリコン酸化膜76からなる第2の層間絶縁膜I2、前記層間絶縁膜I2に形成されたビアホール62、前記層間絶縁膜I2および前記ビアホール62の表面に形成されたウェット層63、および前記ウェット層63の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜64、65、を有する。

【0131】以上のように、本実施の形態によれば、シリコン化合物と過酸化水素との気相反応によって得られる、シラノールを含むシリコン酸化膜を形成し、さらに最上層にCMPによって平坦化されたシリコン酸化膜を形成することにより、極めて良好な平坦性を有する層間絶縁膜を形成することができる。特に、第1の層間絶縁膜は、従来のBPSG膜に比べてかなり低温で成膜することができるため、パンチスルーや接合リークなどの点で特性を改善することができ、したがって、素子の微細化および信頼性の高いコンタクト構造を達成することができ、また製造プロセス上も有利である。また、層間絶縁膜が高度な平坦性を有することから、配線層の加工などを含めたプロセスマージンを増加させ、品質および歩留まりを向上させることができる。

【0132】さらに、本実施の形態においては、アルミニウム膜のスパッタ前に少なくとも脱ガス工程と冷却工程を含み、さらに好ましくは同一チャンバ内で連続的にアルミニウム膜を成膜することにより、0.2μm程度までのコンタクトホールおよびビアホールをアルミニウムあるいはアルミニウム合金だけで埋め込むことが可能となり、信頼性および歩留まりの面で向上がはかれた。また、コンタクト部を構成するアルミニウム膜における銅等の偏析や結晶粒の異常成長もなく、マイグレーション等を含めた信頼性の点でも良好であることが確認された。

【0133】(他の実施の形態) 本発明は上記実施の形態に限定されず、その一部を以下の手段で置き換えることができる。

【0134】(a) 前記実施の形態においては、第2の

## 23

シリコン酸化膜24のプラズマCVDによる成膜時に、酸素を含む化合物として一酸化二窒素を用いたが、その代わりにオゾンを用いることもできる。そして、第2のシリコン酸化膜24を形成する前に、ウエハをオゾン雰囲気にならすことが望ましい。

【0135】例えば、図7に示すベルト炉を用い、ヒーター82によって400～500℃に加熱された搬送ベルト80上にウエハWを載置して所定の速度で移動させる。このとき、第1のガスヘッド86aからオゾンを供給し、2～8重量%のオゾン雰囲気中を前記ウエハWを5分以上の時間をかけて通過させる。次いで、第2および第3のガスヘッド86b、86cからオゾン、TEOSおよびTMP ( $P(OCH_3)_3$ ) をほぼ常圧で供給し、リンの濃度が3～6重量%のPSG膜(第2のシリコン酸化膜)24を、膜厚100～600nmで成膜する。なお、図7において符号84は、カバーを示す。

【0136】このように一酸化二窒素の代わりにオゾンを用いることにより、常圧CVDによってTEOSによるシリコン酸化膜を形成することができる。また、ベルト炉を用いることにより、成膜を連続的に効率よく行うことができる。

【0137】また、オゾン雰囲気中にウエハWをさらすことにより、熱脱離スペクトル(TDS)および赤外分光法(FIR)によって、第1のシリコン酸化膜22は吸湿性や水分が十分少ないこと、反応ガスとして一酸化二窒素を用いた場合と同様に層間絶縁膜11の平坦性およびMOSトランジスタの特性が良好であること、および第1のシリコン酸化膜22にクラックが発生しないことが確認された。

【0138】(b) 前記実施の形態では、第4のシリコン酸化膜20として、プラズマCVDによるTEOSを用いたシリコン酸化膜を用いたが、これに代わり他のシリコン酸化膜を用いてもよい。例えば、このような第4のシリコン酸化膜として、モノシランと一酸化二窒素を用いた減圧熱CVD法によって形成した膜でもよい。このシリコン酸化膜は、下層のシリコン基板の表面形状に忠実に成膜され、カバレッジ性がよいだけでなく、緻密であるのでパッシベーション機能が高く、さらにアニール処理において急激に昇温しても第1のシリコン酸化膜22にクラックが発生しにくい。また、熱CVD法を用いるため、プラズマダメージがない利点がある。

【0139】ただし、この方法による成膜は、ウエハ温度を750～800℃程度に設定する必要があるため、サリサイド構造としてチタンシリサイドのように酸化されやすい膜を使用する場合には適用できず、タングステンシリサイドあるいはモリブデンシリサイドを使用する必要がある。

【0140】(c) 前記実施の形態では、第1の層間絶縁膜11は、4層のシリコン酸化膜から構成されているが、これに限らず他のシリコン酸化膜を加えてもよい。

## 24

例えば、第4のシリコン酸化膜20と第1のシリコン酸化膜22との間に、プラズマCVD法により形成された、膜厚100～300nmのPSG膜(リンの濃度: 1～6重量%)を形成してもよい。このPSG膜を入れることにより、可動イオンのゲッターリング機能がさらに向上して、トランジスタのしきい値特性および静止電流の変動が減少することが確認された。

【0141】(d) さらに、上記実施の形態では、層間絶縁膜11、12において、第3のシリコン酸化膜26、76を形成し、これをさらにCMPによって平坦化した。しかし、第1のシリコン酸化膜22、72は、それ自体で優れた平坦性を有するので、このシリコン酸化膜26、76は必ずしも設けなくともよい。

【0142】なお、上記実施の形態では、2層の配線領域を含む半導体装置について述べたが、本発明はもちろん3層以上の配線領域を含む半導体装置にも適用でき、また、Nチャネル型MOS素子を含む半導体装置のみならず、Pチャネル型あるいはCMOS型素子などの各種の素子を含む半導体装置に適用することができる。

【0143】

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)および(C)は、本発明の半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図2】(A)および(B)は、図1に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図3】(A)および(B)は、図2に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図4】(A)および(B)は、図3に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図5】本発明に係る実施の形態に用いられるスパッタ装置の一例を模式的に示す図である。

【図6】図5に示すスパッタ装置を用いて基板温度を制御したときの、時間と基板温度との関係を示す図である。

【図7】半導体装置の製造に用いられるベルト炉を模式的に示す図である。

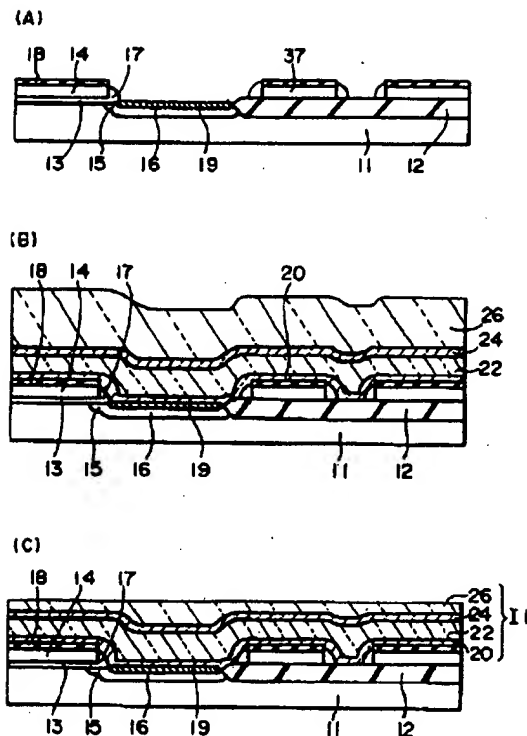
【符号の説明】

- 11 シリコン基板
- 12 フィールド絶縁膜
- 13 ゲート酸化膜
- 14 ゲート電極
- 15 低濃度不純物層
- 16 高濃度不純物層
- 17 側壁スペーサ
- 18 シリコン酸化膜
- 19 チタンシリサイド層

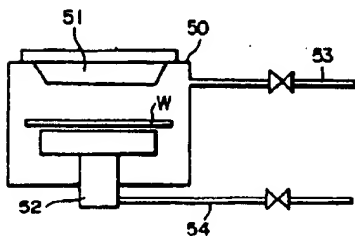
25

- 20 第4のシリコン酸化膜
- 22 第1のシリコン酸化膜
- 24 第2のシリコン酸化膜
- 26 第3のシリコン酸化膜
- 30 第1の金属配線層
- 32 コンタクトホール
- 33 バリア層
- 34 第1のアルミニウム膜
- 35 第2のアルミニウム膜
- 60 第2の金属配線層

【図1】



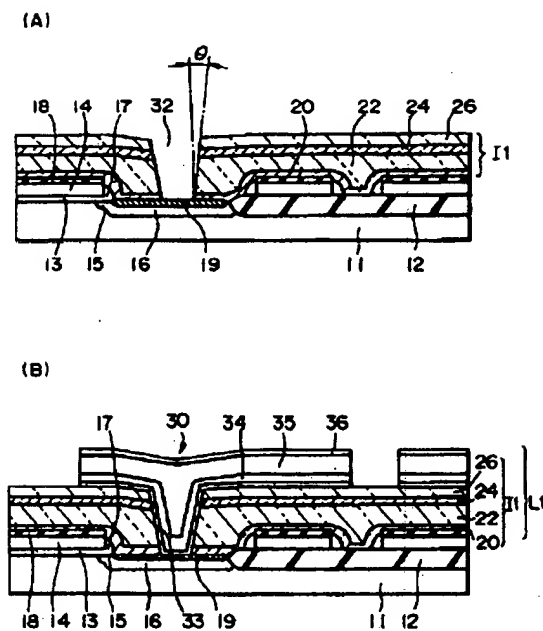
【図5】



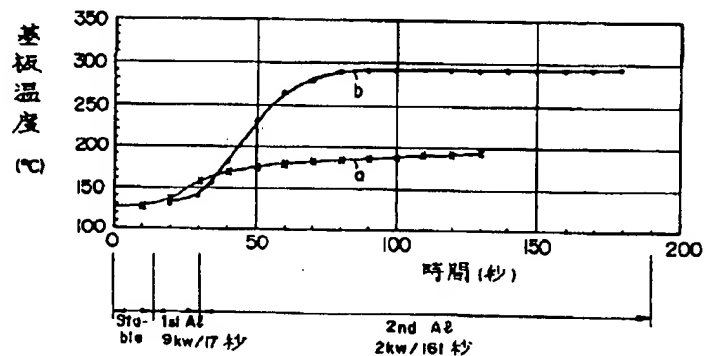
26

- 62 ビアホール
- 63 ウェットング層
- 64 第1のアルミニウム膜
- 65 第2のアルミニウム膜
- 70 第8のシリコン酸化膜
- 72 第5のシリコン酸化膜
- 74 第6のシリコン酸化膜
- 76 第7のシリコン酸化膜
- I1, I2 層間絶縁膜
- 10 L1, L2 配線領域

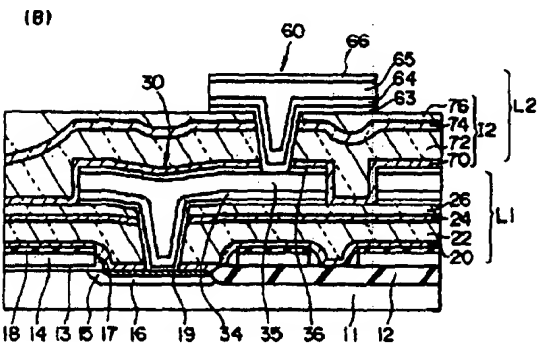
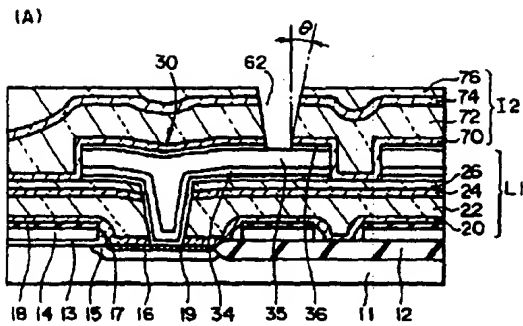
【図2】



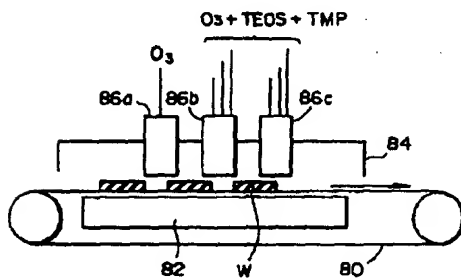
【図6】



【图4】



【図7】



(72)発明者 守屋 直弘  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
ーエプソン株式会社内